

①はじめに

北海道の阿寒および支笏洞爺国立公園は、清冽な水をたたえたカルデラ湖と、湖の周辺で噴気中の、生火山が排列する火山地形で特徴づけられている。火山国日本のうちでも、北海道は活動的な火山の多い地域であり、1977年（昭和52年）夏の有珠山噴火は、まだ私たちの記憶に新しい。

最初の軽石噴火から、8年を経た有珠山の火口原に登ってみると、荒涼とした地表面の所々にオオブキ、オオイタドリ、スギナなどが再生しはじめている。厚さ数m以上の軽石・火山灰の表層へ、永年生植物の根が侵入し、ミミズなどの土壌動物も少しづつ住みつき、活動しはじめたようである。度重なる噴火によって、壊滅的な打撃を受けた有珠火口原においてさえ、母なる大地の復活と、土壌生成のきざしが見られるのである。

②北海道の火山とテフロクロロジー（火山灰編年学）

日本列島最北の島、北海道には、千島弧と北本州弧の内帯にそって、約170万年前から現在までの、第四紀に活動した多数の火山が分布している。日本列島には、200近くの第四紀火山（群）があるが、そのうちの約60（カルデラ9、火山（群）51）は北海道に分布する。

第四紀更新世後期（約15万年～1万年前）に、激烈な軽石噴火を繰返した後に陥没したカルデラは、広大な火山砕屑岩台地を残した古い火山である。図1の軽石・火山灰分布図には、いくつかの代表的なカルデラを示してある。カルデラ生成後、その中心部や周辺に噴出した火山には、有珠山・樽前山・十勝岳・雌阿寒岳のように現在も活動的なものがあり、これらは完新世（1万年～現在）に噴出した独立の火山である。開発の歴史の短い北海道でも、西南部の渡島大島・駒ヶ岳・恵山・有珠山・樽前山をはじめ、中央部～東部の十勝岳・雌阿寒岳・知床硫黄山の計8火山が噴火の記録をもっている。歴史時代の火山活動については、若干の古文書などにより約340年前まで把握できる。しかし、多くの場合、最もよい火山活動の指標は、噴火口から山麓と平野一帯に広く分布する、軽石・スコリア（岩滓）・火山灰の降下火山砕屑物（テフラ）なのである。例えば、先史時代から活潑な活動をつづけている駒ヶ岳・有珠山・カムイヌプリ（摩周岳）などは、とくに軽石・火山灰の

放出の多い生火山として知られている。

更新世後期末（約5万年前）以降の降下火山砕屑物と火砕流堆積物は、北海道の面積の約53%を被っており、とくに農業・畜産適地面積約271万ヘクタールのうち、約108万ヘクタールは、厚さ20 cm以上の降下火山砕屑物で被覆されている。このような降下火山砕屑物で被われた土地のことを、北海道では古くから火山灰地とよんできた。そして、北海道の表層地質を特徴づける軽石・火山灰層は、火山学・地質学・第四紀学・土壌学・考古学の分野にとって、いわば大地に埋れた古文書のようなものであった。

1933年（昭和8年）、当時の北海道農業試験場の土壌研究者は、札幌一苦小牧低地帯に分布する軽石・火山灰の一層一層について追跡し、それらの分布・層位・噴出源・年代などを明らかにした。この仕事は、火山灰地の農業開発のための基礎調査として行なわれたものであるが、研究論文は火山学会誌「火山」に発表され、日本におけるテフロクロロジーの先駆ともなったのである。

厚く堆積した軽石・火山灰層や、それらを母材として、火山活動の休止期に生成した火山性土の断面を観察し、火山灰の粒度・色調・風化の程度や土壌腐植（暗色有機物）の集積程度が調べられた。以上の観察結果を基にして、各軽石・火山灰の層序と層厚変化より、分布域と噴出源（火山）を追跡する野外調査がつづけられた。北海道におけるこのような仕事は、「テフロクロロジー」という用語をはじめて提唱した、故トラリンソン教授の母国アイスランドでのテフラ研究に先行するものであった。

その後も、野外調査は、北海道農業試験場の研究者達により精力的につづけられ、主として完新世（1万年～現在）の軽石・火山灰と、火山性土壌に関する詳細な資料がたくわえられた。1950年以降、北海道の第四紀の諸問題のなかに占める火山砕屑物の重要性が認識され、多くの地質学者によって、おもに更新世後期から完新世に噴出した軽石・火山灰と溶結凝灰岩にかんする研究が行われた。その結果、北海道には大量の火砕流堆積物が降下火山砕屑物と共に広く分布しており、こうした大規模な噴火に伴って、多くのクラカトア型カルデラが形成されたことも明らかにされた。

1969年（昭和44年）、これまでの専門の枠をこえて、全道の火山灰研究者を網羅した北海道火

山灰命名委員会が発足した。この委員会により、降下火山砕屑物の層序・分布・対比の問題が地域別、火山別に検討され、軽石・火山灰層の名称の整理もおこなわれた。そして、1972年と1982年に「北海道火山灰分布図」とその説明書が刊行されたのである。図1の分布図は、おもに同委員会編集の縮尺60万分の1図を基に、比較的広い分布域をもつ降下火山砕屑物を図示したものである。

③降下火山砕屑物の生成・分布および堆積年代

図1の分布図をみると、北海道のほぼ南半分の地域が軽石・火山灰で広く被われていることが理解される。とくに、石狩平野・十勝平野・根釧原野の大部分は、西方ないし北西の火山からの降灰の影響をうけている。さらに、北海道最北端の稚内付近の天北原野にも、日本海上の利尻火山起源の2層の軽石・火山灰が堆積したことが明らかである。

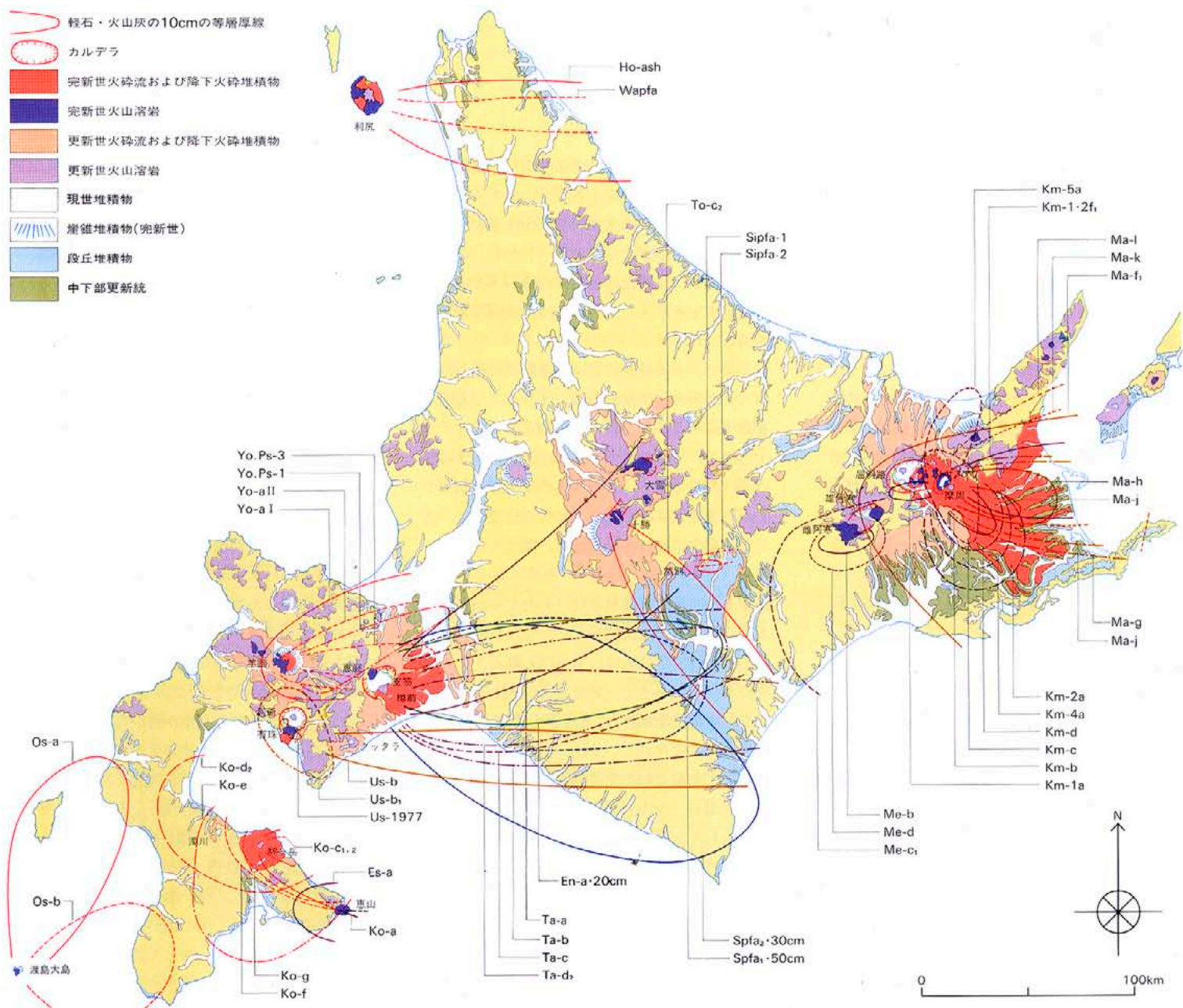
冒頭にのべた有珠山噴火のように、大最の降下火山砕屑物の噴出によって、山体はもとより、時には数100km遠方の平野部においても、厚い降灰による噴火災害が生じ、自然生態系は破壊される。降灰により、かつて植生を支え肥沃であった土壌は埋没し、新たな表土と生態系の回復には、数100年ないし数1,000年の時間を要したことが想像される。

しかし、地史的な長い時間のスケールでみた場合、累積した降下火山砕屑物や火砕流堆積物によって、広い乾燥性の台地平野が形成されたことが理解される。もしかりに、平野部に大量の火山砕屑物の供給がなかったとすると、十勝平野などは扇状地礫層や段丘礫層がむき出しの、さいの河原のような礫質な土壌地域になっていたろう。また、湿潤冷涼な苫小牧付近の勇払原野や道東の根釧原野は、標高の低い泥炭地（湿原）が大半を占める、不毛な(?)低湿地として今日に至ったであろう。

周知のとおり、火山は、繰り返される噴火活動で火口から地表上に噴出されたものが集積して、山体を成長させていく。火山の噴出物には、溶岩流・火山砕屑物（テフラ）および火山ガスとがある。このうち、火山砕屑物は爆発的な噴火に起因する大小種々の放出物を総称する。新しいマグマの中に含まれる水などのガス成分が過飽和になって、ガス成分は気泡として分離し、膨脹したマグマとあわの混合物が地表にあふれ出るのが噴火である。

図1-北海道における主要な軽石・火山灰の分布

<主に北海道火山灰命名委員会(1982)の分布図による>



火山	降下火砕物	体積(Km ³)	精度
渡島大島	Os-a	3.3	D
	Os-b	1.3	A
恵山	Es-a	0.16	A
	Es-b	0.10	A
駒ヶ岳	Ko-a	0.38	C
	Ko-c ₁	0.11	C
	Ko-c ₂	0.26	C
	Ko-d _{1,2}	3.5	A~C
	Ko-e	0.89	C
	Ko-f	1.0	E
羊蹄山	Ko-g	0.46	C
	Yo-a I	0.98	C
	Yo.Ps-1	0.72	A
	Yo.Ps-2	0.44	A
	Yo.Ps-3	0.62	A

火山	降下火砕物	体積(Km ³)	精度
有珠山	Us-1978(9/12)	0.0020	A
	Us-1977-3	0.027	A
	Us-1977-2	0.023	A
	Us-1977-1	0.024	A
	Us-IIIa	0.35	C
	Us-IVa	0.28	C
	Us-Va	0.11	C
	Us-b ₁ (火山灰)	0.50	A
	Us-b ₂ (火山灰)	0.065	A
	Us-b(軽石)	1.85	A
支笏	Spfa-1	36.2	A
	Spfa-2	5.6	A
	Ssfa(スコリア)	17.0	C
恵庭岳	En-a	4.83	A

火山	降下火砕物	体積(Km ³)	精度
樽前山	Ta-IIIa	0.042	C
	Ta-IIa	0.021	C
	Ta-a	0.665	A
	Ta-b	3.1	A
	Ta-c _{1,2}	4.2	A~C
	Ta-d ₂	4.48	A
利尻山	Wapfa	1.53	A
十勝岳	To-a	0.0025	C
	To-c ₂	1.2	C
雄阿寒岳	Me-a _{1,2}	1.5	D
	Me-b _{1~6}	0.17	D
雄阿寒岳	Oa-a	0.13	C
	Oa-b	0.66	A
アトサヌプリ	At-a	0.021	D
	At-b	0.027	D
	At-c	0.021	D

火山	降下火砕物	体積(Km ³)	精度
摩周	Km-1a	0.045	D
	Km-2a	0.66	D
	Km-3a	0.10	D
	Km-4a	0.13	B
	Km-5a	0.81	A
	Km-b	0.11	C
	Km-c	0.20	C
	Km-d	0.22	A
	Km-e	0.17	C
カムイヌプリ	Ma-f ₁ (火砕流)	5.6	E
	Ma-f ₃ (火砕流)	0.90	E
	Ma-g	1.5	A
	Ma-h	1.0	D
	Ma-i	1.7	D
	Ma-j	0.42	D
	Ma-k	0.44	D
摩周カルデラ	Ma-l	2.0	D

<注1> 精度は、分布域内の等層厚線の多いものほどよく、誤差の範囲は、A:±15%, B:±30%, C: +50% -30%, D: +100% -50%, E: +200% -70%である。

噴火の際、マグマ由来の本質的な放出物のほか、マグマ溜りの側壁をつくっている岩石や溶岩の破片はもちろん、時には火口原の砂礫・粘土をも巻き込んで、噴火口からガスと一緒に噴き出してくる。このような爆発的な噴火は、安山岩質とかデイサイト質の粘性の大きいマグマの特徴であり、北海道の火山では、駒ヶ岳・有珠山・樽前山・摩周火山などが軽石を大量に伴う爆発をする。なお、マグマの性質が玄武岩～苦鉄質安山岩質で、ガス成分が多くて発泡した場合、多孔質なコークス状のスコリア（岩滓）が放出される。一回の噴火で、軽石とスコリアが相前後して放出される例もみられる。

ところで、1回の噴火でどの位の量の軽石・火山灰が噴出するものであろうか？ 1977年の有珠山噴火の際、8月7日から14日までの降灰総量は、約2億 m^3 と概算された。この体積は、火山灰を5 m^3 積める8トントラックに換算して4,000万台分という膨大なものである。最近、火山学者達は、「層厚―面積曲線法」という方法で降灰総量を算定したが、その資料の一部をリストアップすると表1のとおりである。表1をみると、支笏、摩周火山のように、カルデラ形成にかかわる降下火山碎屑物と火砕流の体積が、いかに膨大なものであるかわかるであろう。一方、完新世の火山でも、軽石噴火の場合は一般に噴出量は多く、最大4.48 km^3 (Ta-d₂)、平均値で1.05 km^3 である。しかし、細粒な火山灰の噴出量は比較的少なく、3.3 km^3 (0s-a)～0.002 km^3 (Us-1978)、平均値で0.48 km^3 程度である。

火山碎屑物（テフラ）のなかで、粒径32mm以上の、緻密でみかけ密度の大きい火山岩塊・火山弾などは、おもに火口付近に落下する。一方、発泡がよく、みかけ密度の小さい軽石・スコリアは、32mm以上の火山岩塊サイズのもので、火口から遠距離の地点まで風で運搬される。したがって、大噴火の場合、粒径32～4mm火山礫サイズの軽石・スコリアは、4mm以下の火山灰と共に偏西風にのって、火口から数100km以上の東方に運搬され降下堆積することもある。

図1の火山灰分布図にみられるように、多くの軽石・火山灰は、火山の東側か南東側に、ほぼ楕円形に分布している。その厚さは、火山からの距離とともに指数的に減少し、また最大粒径値や中央粒径値も極端に小さくなる。北海道で

は、粒径の粗い軽石を主体に生成した火山性土を、粗粒（質）火山性土とよび、他方、粒径2mm以下の火山灰に由来する火山性土を、細粒（質）火山性土とよんでいる。しかし、このような名称は、土壤母材としての軽石・火山灰の粒度組成を基準とした、いわば便宜的な分類名である。

ところで、火山活動によって平野に堆積した軽石・火山灰の年代推定には、どのような方法が有効であろうか？ この年代測定の研究は、火山形成史、平野の地史と人類活動史の編年に役立つばかりでなく、火山性土の生成と分類学の上から重要視される。堆積年代の推定には、古くから層位学的方法を基礎に、噴火の古記録、植生（とくに樹木の年輪）、湿原における火山灰層上位の泥炭の堆積速度（平均1mm/年）、人類文化層との層位関係などが使われてきた。しかし、1950年以降は、もっぱら軽石・火山灰中の木炭や黒ボク土（腐植質火山灰土）から抽出した腐植酸を試料とした、¹⁴C法による年代測定がおこなわれている。

さらに、北海道の先史時代遺跡から多数出土する、黒曜石（火山ガラス、十勝石ともいう）の石器・石片を試料に、水和層年代測定法が応用され、¹⁴C法とともに火山灰層や土壌の年代推定が可能となってきた。以上の年代測定法による、火山碎屑物の編年を図2に概念的にまとめて示した。この図から、北海道における約4万年前（更新世後期末）から現在までの火山活動の変遷のみならず、軽石・火山灰に由来する火山性土、とりわけ暗色有機物にとむ黒ボク土（腐植質火山灰土）の生成時期など読みとることができよう。

④軽石・火山灰の土壌化——黒ボク土の生成

さて、北海道は東北、関東、九州と並んで、日本における黒ボク土と黒ボク土以前の若い火山性土―火山放出物未熟土（粗粒質火山性土の大部分が相当する）や未熟黒ボク土の代表的な分布地域である。黒ボク土の特徴となっている腐植化度の高い有機物にとみ、黒くやわらかでほくほくする土壌は、いったい何時頃から生成したのであろうか？

図2のなかで、更新世後期末の火砕流堆積物や、Yo-aII, aIII（羊蹄）、En-a（恵庭）、Sipfa-1（然別）およびMa-1（摩周）の降下軽石は、堆積年代が古く、粘土化もかなり進んだものがみられる。しかし、軽石層の最上部に腐植の集積

はほとんど認められない。この理由として、上記の各軽石層の堆積年代は約17,000～9,000年前で、最終氷期から後氷期の寒冷・乾燥気候下では、植生の回復が不十分なため、土壤腐植の集積が極めて少なかったことが考えられる。

一方、約9,000年前までに堆積を終えた風化火山灰層（ローム層）の上部には、かなりの量の腐植の集積が認められ腐植酸の年代は約9,000～8,000年前を示している。例えば、有珠山山麓の館山ローム層の腐植層がこれに相当する。この年代は、考古学的に先土器文化の末葉から縄文早期前半にあたるが、当時の腐植集積には北海道内で地域差があるように思われる。

その後、縄文早期後半から中期にかけて、ほぼ北海道全体は火山活動の休止期を迎える。この期間に集積した厚い腐植層は、約7,000～3,000年前と測定され、北海道西南部・東部および北部を通じてよく発達し、この層準からは多くの縄文文化遺跡が発見されている。この4,000年間は、いわゆる縄文海進が続いており、湿潤で温暖な時期もあって、植物生産の旺盛な黒ボク土の主形成期ともいべき時代であったろう。すなわち、Ko-h, g（駒ヶ岳）、Ta-d₂, 1（樽前）To-c₂（十勝）、Me-d（雌阿寒）、Ma-k, f₁（摩周）およびHo（豊徳、利尻）などの降下軽石・火山灰を母材として厚い黒ボク土が生成したが、これらの大部分は、その後の火山灰の堆積で埋没黒ボク土（腐植層）として残存している。

ついで、約3,000～2,000年前頃、以上の黒ボク土を被って、ふたたび多くの軽石・火山灰が堆積している。例えば、Ko-f（駒ヶ岳）、To-c₁（樽前）、Me-c₁（雌阿寒）、Ma-e（摩周）などである。

その後、約1,500～400年前に、ふたたび火山活動の衰退期がある。この時期の腐植層からも、続縄文・擦文・アイヌ文化の多数の遺跡が発見されている。なお、約3,000～400年前も断続的であるが、土壤腐植の集積はつづいたとみるべきで、西南部のKo-f, e（駒ヶ岳）、十勝平野のTo-c₂（十勝）、Ta-c₁（樽前）、根釧原野のMe-c₁（雌阿寒）、Ma-e（摩周）およびKm-1f（カムイヌプリ）の軽石・火山灰に由来する黒ボク土または未熟黒ボク土が、これに相当するであろう。

最後に、約400年前から今日まで、多くの火山活動の行われる時期を迎える。すでに述べたように、北海道では、噴火記録の最も古いもので

(1982), 佐藤 (1980), 春日井 (1980), 宇田川(1980), 河内ほか (1980), 近堂ほか (1980), MACHIDA and ARAI(1981), ANDO(1981), KATSUI et al.(1981), 山崎ほか(1983), 近堂(1984), の文献に基づいて作成

バナジウム，セレンにも不足している。1950年代に，火山性土畑地で猖獗をきわめた作物のマグネシウム欠乏症の発生は，土壤中の可給態マグネシウムが不足し，かつ当時，苦土肥料が一般に施用されなかったことに起因する。最近では，十勝平野の乾性火山灰土畑地のトウモロコシに発生した亜鉛欠乏症，根釧原野の摩周・カムイヌプリ系の火山性土草地に発生した，めん羊のコバルト欠乏症などが研究者の注目を引いた。以上の事例で明らかなように，北海道の火山性土壌地域における多量，微量要素の欠乏と，作物塚畜の栄養障害の発生は，常に古くて新しい問題としてクローズアップされている。

Figure 1: A detailed geological timeline chart of the Quaternary period in Japan, spanning from 0 to 40,000 years before present (B.P.). The chart is organized into columns representing different regions: Hokkaido, Tohoku, Kanto, Chubu, Kinki, and Kyushu. The vertical axis represents time in years B.P., with major ticks every 1,000 years. The horizontal axis represents the geological period, with labels for the Pleistocene (更新世) and Holocene (縄文時代). The chart displays various geological events, including volcanic eruptions (indicated by red circles and dots), glacial periods (indicated by blue lines), and interglacial periods (indicated by yellow lines). Key events are labeled with names and dates, such as the eruption of Mount Fuji (1703-1708) and the eruption of Mount Aomori (1903-1904). The chart also includes a legend at the bottom, explaining the symbols used for different types of geological events and the meaning of the labels.